

DESARROLLO DE AXONOMETRÍAS OBLICUAS CON RHINOCEROS. APLICACIONES PRÁCTICAS SOBRE EL PATRIMONIO

DEVELOPMENT OF OBLIQUE AXONOMETRIES WITH RHINOCEROS. PRACTICAL APPLICATIONS ON HERITAGE

Antonio Estepa Rubio, Jesús Estepa Rubio

doi: 10.4995/ega.2022.18461

Este artículo se centra en el desarrollo de un procedimiento gráfico digital para trazar axonometrías oblicuas, tanto militares como egipcias, aéreas o cenitales, a partir de un modelo tridimensional.

Planteamos una explicación sobre cómo deben dibujarse usando el programa Rhinoceros, para obtener perspectivas con verdadera magnitud en el plano de representación elegido.

Después, trataremos un caso de estudio específico que permitirá demostrar el funcionamiento del mismo. Representaremos el caso de los edificios patrimoniales donde es pertinente manejar herramientas gráficas que permitan una aproximación métrica tridimensional absolutamente precisa. En consecuencia, los objetivos perseguidos se concentrarán en dos situaciones. Por un lado, enunciar formalmente el método y transcribir las condiciones que deben imponerse. Por otro lado, desarrollar un caso de estudio específico aplicado de complejidad.

PALABRAS CLAVE: AXONOMETRÍA, RHINOCEROS, PATRIMONIO, DIBUJO, ARQUITECTURA, GEOMETRÍA

This paper focuses on the development of a digital graphic procedure to draw oblique axonometric views, both military and Egyptian, aerial or zenithal, from a three-dimensional model.

We propose an explanation on how they should be drawn using the Rhinoceros program, to obtain perspectives with true magnitude in the chosen representation plane. Then, we will deal with a specific case study that will allow us to demonstrate how it works. We will represent the case of heritage buildings where it is pertinent to handle graphic tools that allow an absolutely precise three-dimensional metric approximation.

Consequently, the objectives pursued will be concentrated in two situations. On the one hand, formally state the method and transcribe the conditions that must be imposed. On the other hand, develop a specific applied case study of complexity.

KEYWORDS: AXONOMETRY, RHINOCEROS, HERITAGE, DRAWING, ARCHITECTURE, GEOMETRY



Planteamientos de partida

En la labor técnica y profesional del arquitecto se ha venido utilizando, de forma incesante y sistemática, la perspectiva militar y/o egipcia, como sistema de representación del proyecto arquitectónico (Hidalgo et al 2012). El motivo no es otro que su alta cualificación expresiva, que posibilita el que a través de un solo dibujo se pueda tener conocimiento formal y dimensional de todas las direcciones posibles del espacio (Báez 2010).

Además, tal y como vemos a través de los ejercicios gráficos de Baker (2000, p. 3-14), estos dibujos contribuyen notoriamente a explicar cuestiones propias del proyecto que van más allá de la simple definición geométrica del mismo (Ruiz 1999); pues son capaces de evocar sensaciones, percepciones y, en general, todas las posibles relaciones que son intrínsecas a la arquitectura.

Sin embargo, es cierto que la frecuencia de uso de esta tipología gráfica resulta muy escasa en detrimento del dibujo tradicional arquitectónico a través de planimetrías de proyecciones diédricas; pues su elaboración y desarrollo es mucho más sofisticada y tediosa que las otras (Gentil 1983).

La aparición de nuevas fórmulas y sistemáticas de dibujo basadas en softwares informáticos han permitido compensar la diferencia de esfuerzo y la complejidad en el proceso de elaboración que separa el dibujo en proyección cilíndrica oblicua del tradicional dibujo diédrico (Trachana 2012).

El trabajo contenido en este artículo se centrará en el desarrollo detallado de un procedimiento gráfico válido a emplear para trazar axo-

nometrías oblicuas, tanto militares como egipcias, aéreas o cenitales, a partir de un modelo tridimensional previamente resuelto.

Hay infinidad de publicaciones sobre los procedimientos gráficos que fundamentan esta forma de dibujo (Panofsky 1999), pero son muy escasas aquellas en las que se explican y detallan metodologías concretas a través del uso de un software específico aplicado a tal fin. Los profesores Cabezos Bernal y Cisneros Vivó (2010, p. 82), han estudiado los procedimientos para la obtención de perspectivas caballerías y militares a partir de modelos tridimensionales, pero no aplican una herramienta informática específica para conseguirlo; apuntando de manera general al uso de cualquier programa CAD que permita operar aplicando deformaciones de escalas no uniformes sobre modelos tridimensionales levantados previamente. Por lo tanto, este trabajo pretende continuar aquella investigación y cerrarla apuntando hacia una dirección concreta con el uso de la herramienta informática de modelado tridimensional Rhinoceros, de uso cada vez más extendido y común entre profesionales y docentes del mundo de la arquitectura.

Fundamento teórico

Como bien es sabido, la perspectiva axonométrica tiene dos fórmulas de trabajo diferenciadas, de acuerdo con la mecánica operativa surgida de la forma de proyección sobre el plano del cuadro del objeto a representar. Así, podemos trabajar en axonometría ortogonal (isométrica, dimétrica o trimétrica) o bien en axonometría oblicua, según el rayo de proyec-

Starting approaches

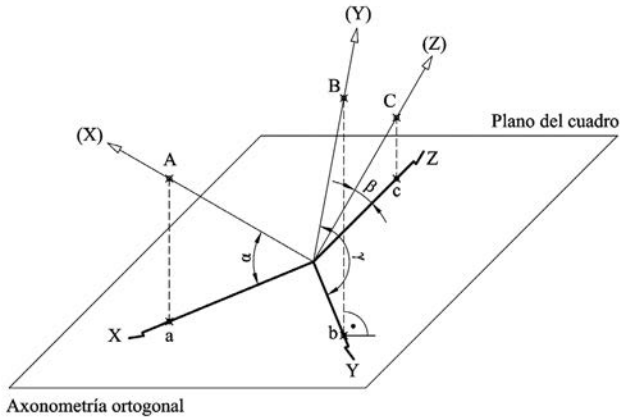
In the technical and professional work of the architect, the military perspective has been used incessantly and systematically as a system of representation of the architectural project (Hidalgo et al 2012). The reason is none other than its high expressive qualification, which makes it possible to have formal and dimensional knowledge of all possible directions of space through a single drawing (Báez 2010).

In addition, as we see through the graphic exercises of Baker (2000, p. 3-14), these drawings notoriously contribute to explaining issues of the project that go beyond its simple geometric definition (Ruiz 1999); because they are capable of evoking sensations, perceptions and all the possible relationships that are characteristic of architecture. However, it is true that the frequency of use of this graphic typology is very scarce in favor of the traditional drawing through plans of dihedral projections; because its elaboration and development is much more complex than the others (Gentil 1983).

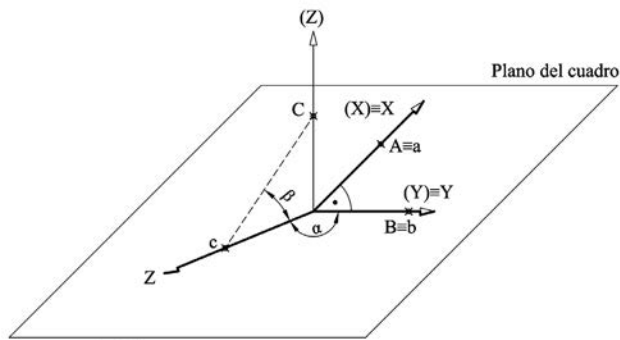
The appearance of new drawing formulas based on computer software have made it possible to compensate for the difference in effort in the elaboration process that separates the oblique cylindrical projection drawing from the traditional dihedral drawing (Trachana 2012).

The work contained in this article will focus on the detailed development of a valid graphic procedure to draw oblique axonometric views, both military and Egyptian, aerial or zenithal, from a previously solved three-dimensional model.

There are countless publications on the graphic procedures that support this form of drawing (Panofsky 1999), but there are very few those in which specific methodologies are explained through the use of software. Professors Cabezos Bernal and Cisneros Vivó (2010, p. 82), have studied the procedures for obtaining cavalry and military perspectives from three-dimensional models, but they do not apply a specific computer tool to achieve it; pointing in a general way to the use of any CAD program that allows operating by applying deformations of non-uniform scales on previously raised three-dimensional models. Therefore, this work intends to continue that investigation and close it by pointing in a specific direction with

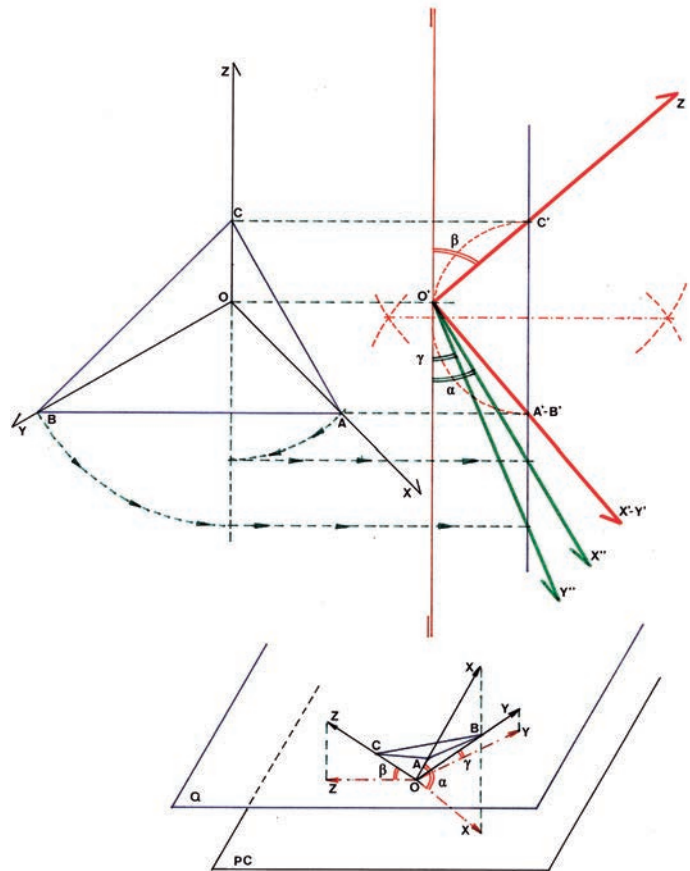


Axonometría ortogonal



Axonometría oblicua

1



2

the use of the Rhinoceros three-dimensional modeling computer tool, which is increasingly used among professionals and teachers.

Theoretical foundation

As is well known, the axonometric perspective has two different working formulas, according to the operational mechanics arising from the form of projection on the picture plane. Thus, we can work in orthogonal axonometry (isometric, dimetric or trimetric) or in oblique axonometry, depending on whether the projection ray used forms a right angle with the picture plane (Izquierdo 2000). While orthogonal axonometry generates a deformation for each of the reference axes of the drawing, oblique axonometry only generates deformation in one of the three axes; because we make the picture plane coincide with the horizontal plane of our object, in the case of military perspective, or with one of its vertical planes, in the case of cabinet perspective (Fig. 1). In this way, the oblique axonometric perspective (military or cabinet) is very intuitive, as well as decisive, to represent volumetrics of complex entities, as happens in architecture; because in them, either the plan or one of the elevations obtained by orthogonal

utilizado forme, o no, un ángulo recto con el plano del cuadro (Izquierdo 2000).

Mientras que la axonometría ortogonal genera una deformación para cada uno de los ejes de referencia del dibujo, en la axonometría oblicua sólo se genera deformación en uno de los tres ejes; pues hacemos coincidir el plano del cuadro con el plano horizontal de nuestro objeto, en el caso de la perspectiva militar, o con alguno de los planos verticales del mismo, en el caso de la perspectiva caballera (Fig. 1).

De esta manera es muy intuitiva, a la vez que resolutive, la perspectiva axonométrica oblicua (militar o caballera) para representar volumetrías de entidades complejas, como sucede en arquitectura; pues en ellas, bien la planta o bien uno de los alzados obtenidos por proyección cilíndrica ortogonal quedarán incluidos en el trazado de la perspectiva.

Así, mientras que los dibujos axonométricos ortogonales quedan dimensionalmente deformados según sea el ángulo que cada uno de los tres ejes que componen el triedro trirrectángulo de referencia forman con el plano del cuadro, en las perspectivas axonométricas oblicuas, tal deformación sólo quedará referida a un eje, pues los otros dos ya están contenidos en el plano del cuadro y, por lo tanto, su proyección ya está en verdadera magnitud.

Para ver el porcentaje de deformación que se produce en la axonometría ortogonal sobre cada uno de los tres ejes, es preciso encontrar los ángulos α , γ y β que respectivamente forman los ejes X, Y, Z con el plano del cuadro sobre el que éstos se proyectan. Puesto que el plano del cuadro es un sistema sobre el que se dibuja en proyección horizontal, bastaría hacer un cambio de plano vertical paralelo a alguno de los tres ejes, para que sobre este



1. Esquema conceptual de los procedimientos de proyección de las axonometrías ortogonal y oblicua. (Fuente: elaboración propia)

2. Procedimiento gráfico para la puesta en verdadera magnitud de los ángulos formados entre el plano del cuadro y cada uno de los ejes del sistema axonométrico ortogonal. (Fuente: elaboración propia)

1. Conceptual scheme of the projection procedures of the orthogonal and oblique axonometries. (Source: original material)

2. Graphic procedure for setting the true magnitude of the angles formed between the picture plane and each of the axes of the orthogonal axonometric system. (Source: original material)

nuevo plano vertical podamos obtener las proyecciones de los ángulos que buscamos (Fig. 2).

Por lo tanto, sea el sistema de representación formado por el triedro trirrectángulo que tiene su vértice apoyado sobre el plano del cuadro (un plano horizontal de proyección), nuestro ejercicio consistirá en encontrar para cada uno de los tres ejes del triedro trirrectángulo el ángulo que éstos forman con dicho plano horizontal, teniendo en consideración que cada uno de los ejes no es sino la intersección producida por los planos del triedro tomados dos a dos.

Si hacemos un cambio de plano vertical de modo que el nuevo plano de proyección quede paralelo al eje Z, su proyección sobre este nuevo plano vertical quedará en verdadera magnitud, y por tanto podremos conocer también en verdadera magnitud el valor del ángulo β formado entre el plano del cuadro y el eje Z, que se proyecta sin alterar su dimensión viéndose en verdadera magnitud, como el formado entre la proyección vertical del eje Z y la línea de tierra.

Para obtener la posición de la línea de tierra partimos de un triángulo **órtico** del sistema de referen-

cia, obtenido de manera que cada lado del mismo sea perpendicular al eje opuesto sobre el que se enfrenta. En la proyección vertical el triángulo se proyecta sobre la traza del plano horizontal paralelo al plano del cuadro en el que está contenido, de manera que el vértice C contenido en el eje Z se proyecta de forma autónoma, pero los vértices A y B, contenidos respectivamente en los ejes X e Y se proyectan superpuestos. Por lo tanto, si trazamos el arco capaz del segmento que tiene por extremos al vértice C y a los vértices A=B, sobre dicho arco ha de situarse la proyección vertical del vértice O del triedro trirrectángulo, pues el plano XOY queda en posición proyectante sobre el plano vertical de proyección y su traza formará un ángulo recto con la proyección vertical del eje Z.

Ahora sólo restaría encontrar los ángulos α y γ que forman respectivamente los ejes X e Y con el plano del cuadro. Para ello, puesto que disponemos de sus proyecciones diédricas gracias al cambio de plano introducido, sólo es necesario hacer sendos giros que posicionen cada uno de los dos ejes de coordenadas como rectas frontales, de modo que sobre el plano vertical de proyección podremos visualizar utilizando la línea de tierra como referencia los ángulos que buscamos.

Es por lo tanto sencillo comprender que si conocemos estos ángulos podemos establecer las escalas de deformación necesarias para acometer el dibujo de la volumetría a representar, conociendo las deformaciones dimensionales que habremos de considerar para cada una de las direcciones del espacio.

Especialmente interesante resulta ver la relación existente entre

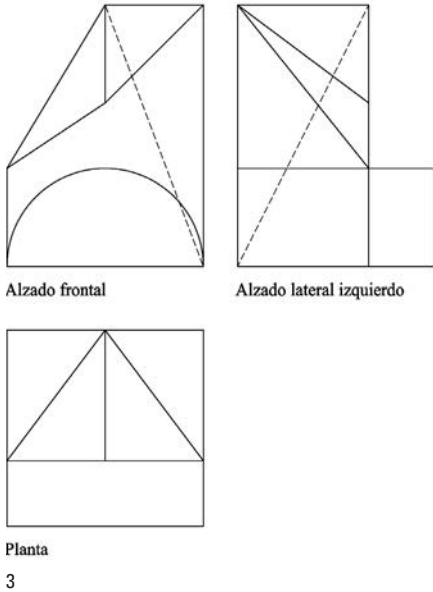
cylindrical projection will be included in the perspective layout.

Thus, while orthogonal axonometric drawings are deformed depending on the angle that each of the three axes that make up the reference trirectangular trihedron form with the picture plane, in oblique axonometric perspectives, such deformation will only be referred to one axis, for the other two are already contained in the picture plane and therefore their projection is already in true magnitude.

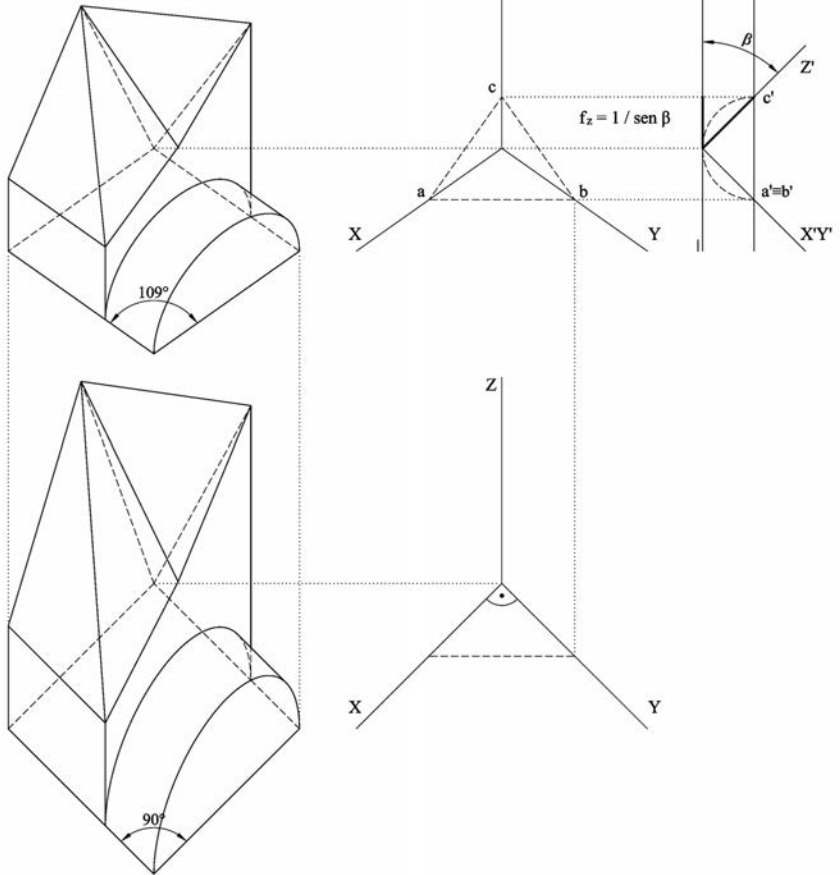
To see the percentage of deformation that occurs in the orthogonal axonometry in each of the three axes, it is necessary to find the angles α , γ and β that the axes X, Y, Z form, respectively, with the plane of the painting on which they find each other. they are projected. Since the pictorial plane is a system on which the horizontal projection is drawn, it would be convenient to change the vertical plane parallel to one of the three axes, so that on this new vertical plane we can obtain the projections of the angles we are looking for. for (Fig. 2).

Therefore, be the representation system formed by the trirectangular trihedron whose vertex rests on the picture plane (a horizontal plane of projection), our task will be to find for each of the three axes of the trirectangular trihedron the angle that form with said horizontal plane, taking into consideration that each of the axes is the intersection produced by the planes of the trihedron taken in pairs.

If we make a change of vertical plane so that the new projection plane is parallel to the Z axis, its projection on this new vertical plane will remain in true magnitude, and therefore we will also be able to know in true magnitude the value of the angle β formed between the picture plane and the Z axis, which is projected without altering its dimension, seeing it in true magnitude, such as the one formed between the vertical projection of the Z axis and the ground line. To obtain the position of the ground line, we start from an orthic triangle of the reference system, obtained in such a way that each side of it is perpendicular to the opposite axis on which it faces. In the vertical projection, the triangle is projected onto the trace of the horizontal plane parallel to the plane of the frame in which it is contained, so that the



Axonometría ortogonal



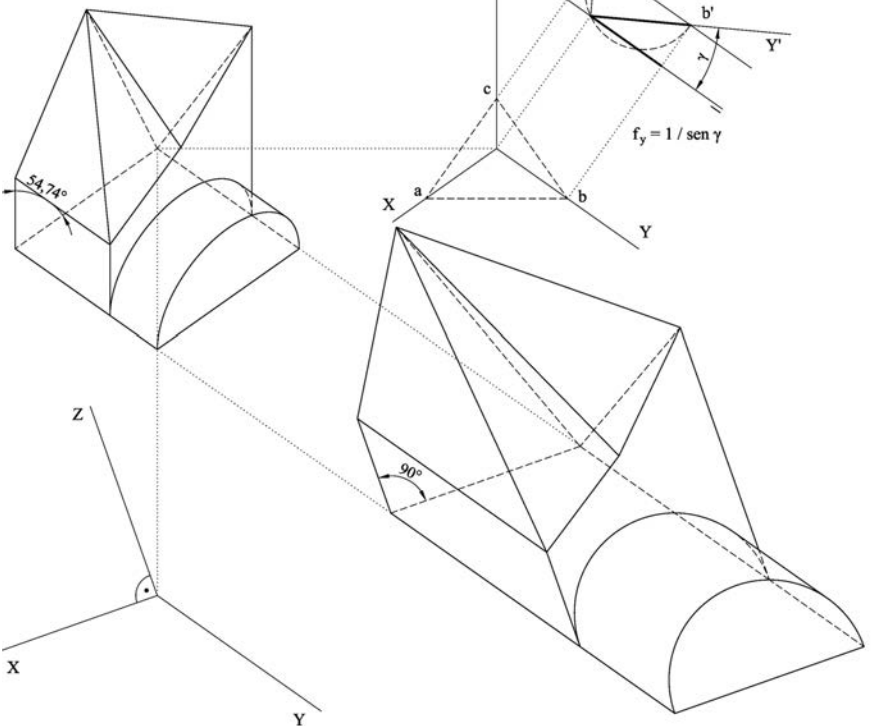
Axonometría oblicua militar

4

- 3. Definición geométrica de una figura tridimensional a través de sus vistas diédricas. (Fuente: elaboración propia)
- 4. Procedimiento gráfico para la transformación por deformación unidireccional de una proyección axonométrica ortogonal en una proyección axonométrica militar. (Fuente: elaboración propia)
- 5. Procedimiento gráfico para la transformación por deformación unidireccional de una proyección axonométrica ortogonal en una proyección axonométrica caballera. Caso del plano XZ en verdadera magnitud. (Fuente: elaboración propia)
- 6. Procedimiento gráfico para la transformación por deformación unidireccional de una proyección axonométrica ortogonal en una proyección axonométrica caballera. Caso del plano YZ en verdadera magnitud. (Fuente: elaboración propia)

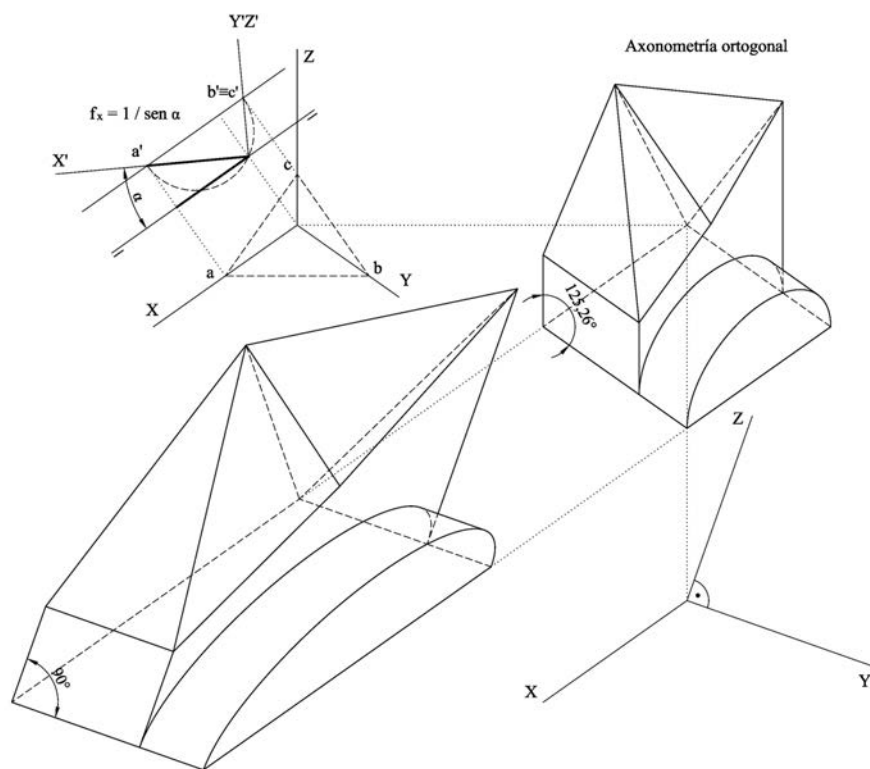
- 3. Geometric definition of a three-dimensional figure through its dihedral views. (Source: original material)
- 4. Graphic procedure for the transformation by unidirectional deformation of an orthogonal axonometric projection into a military axonometric projection. (Source: original material)
- 5. Graphic procedure for the transformation by unidirectional deformation of an orthogonal axonometric projection into a cabinet axonometric projection. Case of the XZ plane in true magnitude. (Source: original material)
- 6. Graphic procedure for the transformation by unidirectional deformation of an orthogonal axonometric projection into a cabinet axonometric projection. Case of the YZ plane in true magnitude. (Source: original material)

Axonometría ortogonal



Axonometría oblicua caballera

5



Axonometría oblicua caballera

6

la proyección axonométrica ortogonal y la axonométrica oblicua a través de estos ángulos α , γ y β pues conocidos sus valores podemos determinar coeficientes de deformación que aplicados en la dirección del espacio a la que cada ángulo se refiere, nos permiten transformar las proyecciones ortogonales en axonometrías oblicuas. Ello queda perfectamente estudiado y explicado por los profesores Cabezos Bernal y Cisneros Vivó (2010, p. 83-86), cuyo trabajo, a los efectos del presente documento muy sucintamente puede resumirse en que, utilizando un software CAD que permita deformaciones unidimensionales sobre las volumetrías, podemos establecer factores de escala que deforman el dibujo axonométrico ortogonal inicial utilizado, para transformarlo en una perspectiva caballera o militar. Estos coeficientes escalares tienen por valor la inversa del seno del ángulo de

cada eje coordenado con el plano del cuadro. Por lo tanto, aplicando de forma independiente las deformaciones escalares de cada dirección del espacio, podemos obtener una perspectiva militar (verdadera magnitud del plano XY) si aplicamos el coeficiente de deformación f_z , o bien perspectivas caballerías (verdadera magnitud del plano XZ o del plano YZ) si aplicamos los coeficientes de deformación f_x o f_y .

De acuerdo con lo dicho, resulta evidente pensar que, dada la potencia de los softwares que actualmente manejamos, si tenemos un modelo virtual de la realidad física que queremos representar, podemos aplicar a éste cada una de las deformaciones a las que anteriormente nos referíamos, para, con una simple proyección plana ortogonal, obtener cualquier tipo de axonometría oblicua, tanto militares, como caballerías (Figs. 3, 4, 5 y 6).

vertex C contained in the Z axis is projected autonomously, but the vertices A and B, contained respectively on the X and Y axes are projected superimposed. Therefore, if we draw the capable arc of the segment whose endpoints are vertex C and vertices $A=B$, the vertical projection of vertex O of the trirectangular trihedron must be placed on said arc, since the XOY plane remains in a projecting position on the vertical plane of projection and its trace will form a right angle with the vertical projection of the Z axis. Now it only remains to find the angles α and γ that the X and Y axes respectively form with the picture plane. To do this, since we have their dihedral projections thanks to the change of plane introduced, it is only necessary to make two turns that position each of the two coordinate axes as frontal lines, so that on the vertical plane of projection we can visualize using the ground line as a reference the angles we are looking for.

It is therefore easy to understand that if we know these angles we can establish the scales of deformation necessary to undertake the drawing of the volumetry to be represented, knowing the dimensional deformations that we will have to consider for each of the directions of space. It is especially interesting to see the relationship between the orthogonal axonometric projection and the oblique axonometric projection through these angles α , γ and β , since knowing their values we can determine deformation coefficients that applied in the direction of space to which each angle refers, they allow us to transform orthogonal projections into oblique axonometries. This is perfectly explained by professors Cabezos Bernal and Cisneros Vivó (2010, p. 83-86), whose work can be summed up in that, using CAD software that allows one-dimensional deformations on the volumes, we can establish scale factors that deform the drawing to transform it into a cabinet or military perspective. These scalar coefficients have as their value the inverse of the sine of the angle of each coordinate axis with the frame plane. Therefore, independently applying the scalar deformations of each direction of space, we can obtain a military perspective (true magnitude of the XY plane) if we apply the deformation coefficient f_z , or knightly



perspectives (true magnitude of the XZ plane or of the plane YZ) if we apply the deformation coefficients f_x or f_y .

In accordance with what has been said, it is clear to think that, given the power of the software that we currently handle, if we have a virtual model of the physical reality that we want to represent, we can apply to it each of the deformations that we previously referred to, to, with a simple orthogonal flat projection, obtain any type of oblique axonometry, both military and cabinet (Figs. 3, 4, 5 and 6).

The approach of this exhibition, therefore, has to focus on determining a simple methodology that, based on the use of specific software, in this case Rhinoceros, allows all kinds of oblique axonometric perspectives to be obtained, thereby generating drawings not only of high descriptive value of the volume to be represented, but loaded with nuances that allow this procedure to continue being widely used, above all, in the field of architectural graphic expression.

In this field of application, over the last decades, we see how this graphic methodology has been quite useful for the study of issues related to heritage, as Professor Palacios Gonzalo does, in research related to stereotomy studies (Palacios 1990).

Approach to the question. Work methodology

Despite the fact that we can find several video-tutorials on the Internet where effective formulas with which the problem can be tackled are explained, it is pertinent to formulate a critical explanation, based on scientific parameters, that orders and technically states both the problem and the solution.

This, in addition, allows us to explain the importance of this powerful graphic tool and, at the same time, shows how we should use it to more easily solve those typological problems (Martí 2014), where metric control acquires maximum importance.

Until today, most computer programs only allow us to draw in orthogonal axonometric perspective, where the angular dimensions are distorted and reduction coefficients are necessary for each of the directions of space. We will limit the method to the graphic possibilities that Rhinoceros offers us, above

El planteamiento de esta exposición, por tanto, ha de centrarse en determinar una metodología sencilla y directa que basada en el uso de un software concreto, en este caso Rhinoceros, permita obtener todo tipo de perspectivas axonométricas oblicuas, generando con ello dibujos no ya sólo de alto valor descriptivo del volumen a representar, sino cargados de matices y singularidades que permitan que a lo largo del tiempo este procedimiento de representación siga siendo muy utilizado, sobre todo, en el campo de la expresión gráfica arquitectónica.

En este ámbito de aplicación, a lo largo de las últimas décadas, vemos como esta metodología gráfica está siendo de bastante utilidad para el estudio sistemático de cuestiones que atañen al patrimonio, tal y como hace, entre otros, el profesor Palacios Gonzalo, en investigaciones relacionadas con el estudio de la estereotomía y el despiece ejecutivo de cantería (Palacios 1990).

Planteamiento de la cuestión. Metodología de trabajo

A pesar de que en la red podemos encontrar varios video-tutoriales donde se explican fórmulas efectivas con las que se puede atajar el problema, resulta pertinente formular una explicación crítica, basada en parámetros científicos, que ordene y enuncie técnicamente tanto el problema como la solución.

Esto, además, nos permite explicar el porqué de la trascendencia de esta potente herramienta gráfica y, a la vez, muestra cómo debemos emplearla para resolver más fácilmente aquellos proble-

mas tipológicos (Martí 2014), donde el control métrico adquiere máxima importancia.

Hasta la fecha, la mayoría de los programas informáticos tan sólo nos permiten dibujar en perspectiva axonométrica ortogonal, donde las dimensiones angulares se distorsionan y son necesarios la obligada aplicación de coeficientes de reducción para cada una de las direcciones del espacio.

Acotaremos el método de, manera muy específica, a las posibilidades gráficas que nos ofrece Rhinoceros, sobre todo, debido a la fluidez y a la versatilidad con la que trabaja este programa informático.

La metodología de partida no es otra que utilizar la capacidad de generación de dibujos proyectivos por parte de Rhinoceros para que, a través de modelos virtuales tridimensionales manipulados convenientemente, podamos extraer, de forma directa, perspectivas axonométricas militares y/o caballerías.

Por ello, para abordar la construcción de axonometrías oblicuas es fundamental partir de la teoría de la geometría proyectiva y, sobre todo, de la enorme potencia que tiene Rhinoceros para transformar cualquier modelo virtual tridimensional en un dibujo lineal vectorizado. Por esto, es necesario disponer de un modelo tridimensional que contenga, de forma precisa y pormenorizada, toda la información geométrica de la realidad que pretendemos dibujar.

Una vez aquí, habiendo terminado adecuadamente, según el nivel de detalle que se desee alcanzar, el modelo virtual tridimensional del objeto sobre el que estamos trabajando, podemos implementar el



conjunto de operaciones correctoras que terminarán por generar nuestra perspectiva axonométrica militar o caballera.

En primer lugar, es recomendable generar un archivo de respaldo, duplicando el archivo original para que podamos disponer de la información primitiva para sucesivas necesidades y así mantener inalterada la información que utilizamos como punto de partida en nuestra labor.

Toda perspectiva axonométrica oblicua necesariamente tiene que tener uno de los planos de proyección coincidiendo con el plano del papel (plano del cuadro), de forma que para generar perspectivas militares proyectaremos el dibujo en planta, mientras que para generar perspectivas caballerías lo haremos en alguno de los planos de alzado. Así, de acuerdo con la nomenclatura de Rhinoceros las proyecciones militares se gestionarán sobre la vista superior de las ventanas de visualización de la interfaz, las militares cenitales se proyectarán sobre la vista inferior y las caballerías se visualizarán sobre las vistas laterales, derecha o izquierda, según interese para cada caso.

A continuación, giramos la figura para que la perspectiva se visualice en escorzo; normalmente este giro será de 30°, 45° o 60°; no obstante, el giro puede ser de cualquier valor angular. Normalmente aplicaremos esta operación sobre la vista superior de la interfaz para que tengamos un control óptimo del sentido de rotación y, para ello, utilizaremos el comando “rotar”, que se aplica de forma muy intuitiva sobre el visor de la pantalla.

A pesar de que para la elaboración de una axonométrica oblicua se puede utilizar cualquier ángulo

de giro en el plano XY respecto a la posición de la figura, éstos son los más habituales y comúnmente utilizados debido a su uso derivado del empleo de la escuadra y del cartabón para elaborar manualmente este tipo de dibujos. No es muy habitual encontrar otros ángulos dado a que éstos se han estandarizado y ayudan y facilitan el entendimiento de la geometría de una forma más intuitiva. Hay un caso particular en el que se emplea el ángulo de 90°, generando un tipo de dibujo muy singular donde se visualizan tanto la planta como el alzado en verdadera magnitud. Este tipo de perspectivas era utilizado con bastante frecuencia por el arquitecto estadounidense John Hejduk, adquiriendo de manera común el apelativo de perspectiva egipcia o perspectiva de Hejduk (Gentil 1983, p. 77-89)).

Rhinoceros no dispone de herramientas de proyección oblicua, por lo que para dibujar las vistas diédricas 2D de la geometría tridimensional modelada, proyecta siempre ortogonalmente cada vértice del objeto sobre los planos de visualización de la interfaz. Por ello, para obtener proyecciones oblicuas es necesario “engañar” al software para que proyectando ortogonalmente consigamos un efecto gráfico que se visualice de igual manera que el resultado obtenido con una proyección oblicua. Para lograr este objetivo lo que haremos será distorsionar en el modelo tridimensional las aristas perpendiculares al plano horizontal en el caso de axonométrías militares o al plano vertical en el caso de axonométrías caballerías, para que en nuestro archivo de trabajo tengan ya un ángulo de distorsión específico que genere a través de una

all, due to the fluidity and versatility with which this computer program works.

The starting methodology consists of using the ability to generate projective drawings by Rhinoceros so that, through suitably manipulated three-dimensional virtual models, we can extract military and cabinet axonometric perspectives.

For this reason, in order to approach the construction of oblique axonometries, it is essential to start from the theory of projective geometry and, above all, from the enormous power that Rhinoceros has to transform any three-dimensional virtual model into a linear vectorized drawing. For this reason, it is necessary to have a three-dimensional model that contains, in a precise and detailed way, all the geometric information of the reality that we intend to draw.

Once here, having properly finished the three-dimensional virtual model of the object on which we are working, depending on the level of detail to be achieved, we can implement the set of corrective operations that will end up generating our military or cabinet axonometric perspective.

Previously, it is advisable to generate a backup file, duplicating the original file so that we can have the original information for successive needs and thus keep the information we use as a starting point unchanged.

Every oblique axonometric perspective necessarily has to have one of the projection planes coinciding with the plane of the paper (frame plane), so that to generate military perspectives we will project the drawing in plan, while to generate cabinet perspectives we will do it in one of the elevation plans. Thus, according to the Rhinoceros nomenclature, the military projections will be managed on the top view of the interface display windows, the zenith military will be projected on the bottom view and the cabinet will be displayed on the lateral, right or left views, according to interest for each case.

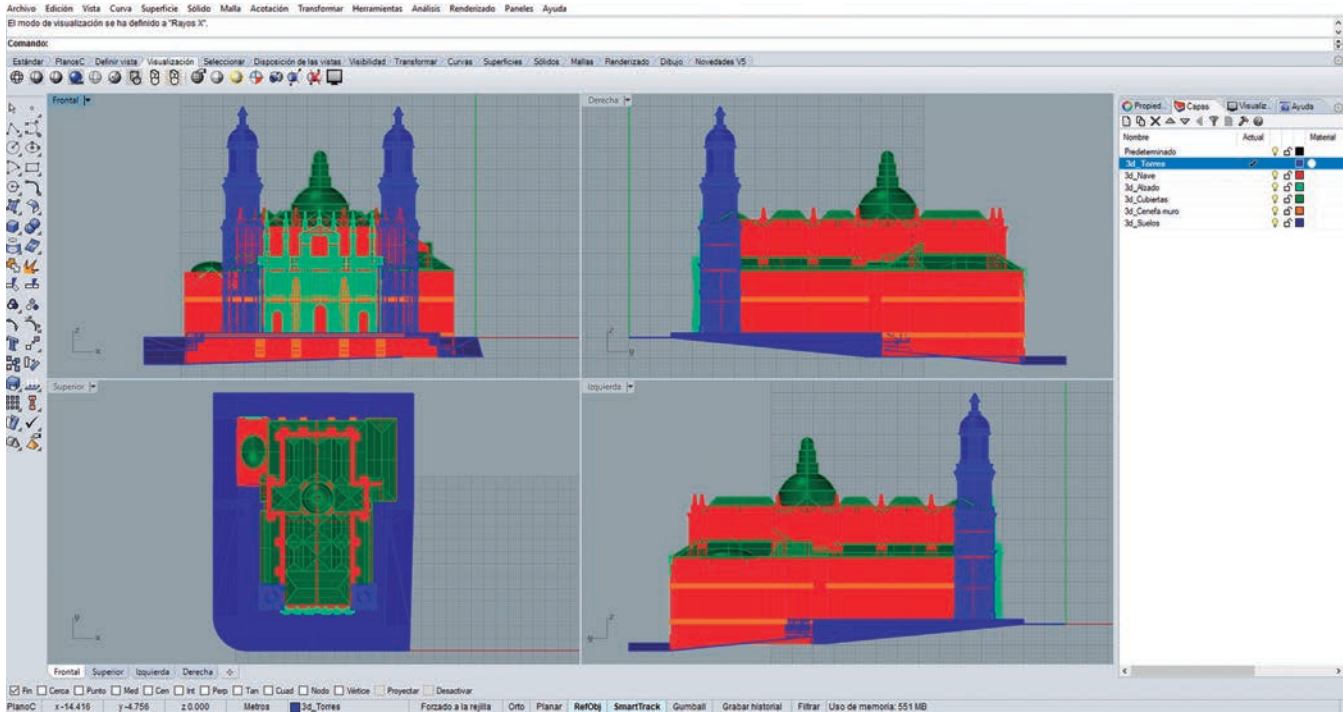
Next, we rotate the figure so that the perspective is visualized in foreshortening; normally this turn will be 30°, 45° or 60°; however, the twist can be of any angular value. Normally we will apply this operation on the top view of the interface so that we have optimal control of the direction of rotation and, for this, we will use the

7. Captura de pantalla de la interfaz de Rhinoceros. Modelado tridimensional de la geometría envolvente exterior de la Sta. Iglesia Catedral de Jaén. (Fuente: elaboración propia)

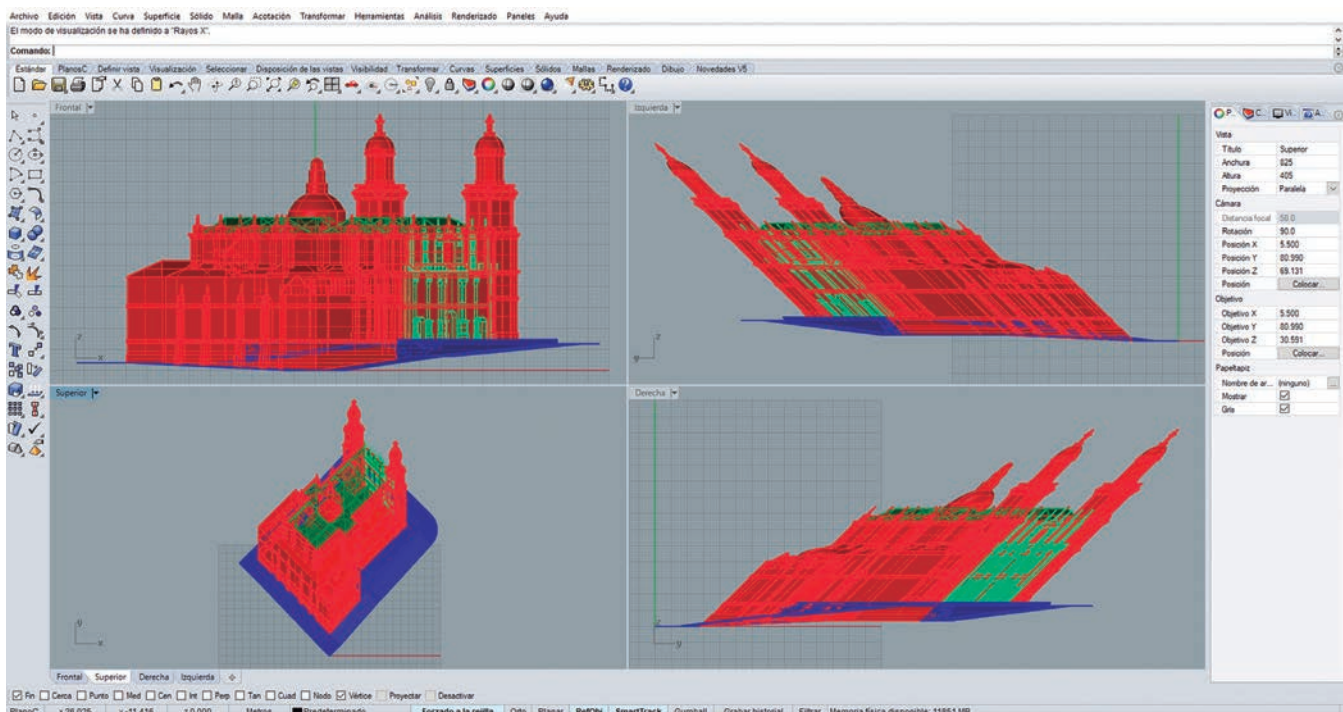
8. Captura de pantalla de la interfaz de Rhinoceros. Modelado tridimensional de la geometría envolvente exterior de la Sta. Iglesia Catedral de Jaén. Ejemplo de deformación geométrica para la obtención de axonometrías oblicuas. (Fuente: elaboración propia)

7. Screenshot of the Rhinoceros interface. Three-dimensional modeling of the exterior geometry of the Cathedral of Jaén. (Source: original material)

8. Screenshot of the Rhinoceros interface. Three-dimensional modeling of the exterior geometry of the Cathedral of Jaén. Example of geometric deformation to obtain oblique axonometries. (Source: original material)



7



8



9. Captura de pantalla de la interfaz de Rhinoceros. Barra de herramientas de transformaciones y Cuadro de diálogo para la configuración de las opciones de creación de un dibujo 2D. (Fuente: elaboración propia)

9. Screenshot of the Rhinoceros interface. Transformation toolbar and Dialog box for configuring the creation options of a 2D drawing. (Source: original material)

proyección ortogonal sencilla cada uno de los dos tipos de perspectivas axonométricas oblicuas que buscamos (Figs. 7 y 8).

Respecto a esta transformación es importante aclarar que debemos utilizar una distorsión angular de 45°, para conseguir con ello que las dimensiones originales ubicadas sobre las aristas distorsionadas, se mantengan inalteradas una vez que se haya producido su proyección.

Para generar la distorsión sobre nuestra geometría digital es necesario aplicar el comando “sesgar”

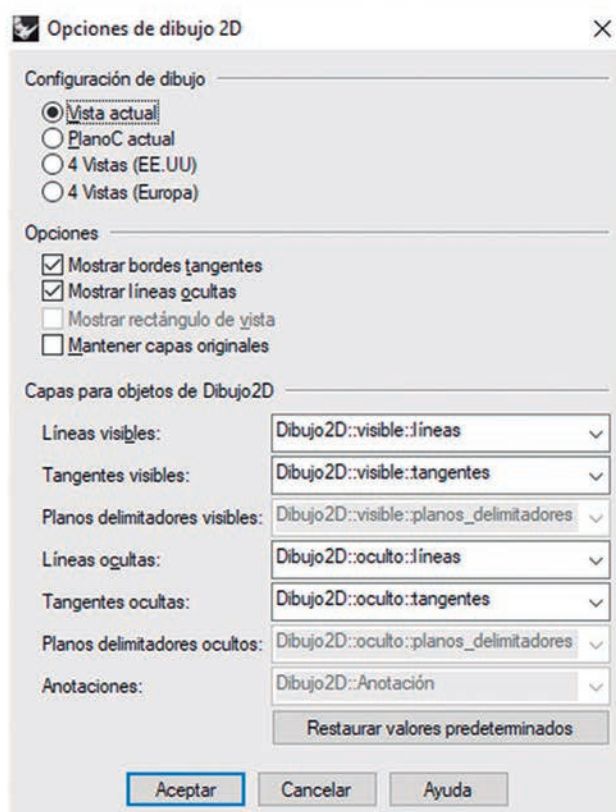
apoyándonos sobre cualquier elemento geométrico, por ejemplo, un triángulo dibujado previamente, donde hayamos trazado el ángulo con el que queremos distorsionar la figura.

Una vez que hemos aplicado la distorsión sobre la vista y tenemos el modelo virtual preparado para ser proyectado en el plano horizontal para obtener una vista militar, o en el plano vertical para obtener una vista caballera, sólo restaría en sí mismo efectuar tal operación proyectiva.

Si todo es correcto, ya en el propio visor de la interfaz gráfica del

“rotate” command, which is applied in a very intuitive way on the screen viewer.

Despite the fact that for the elaboration of an oblique axonometry any angle of rotation in the XY plane with respect to the position of the figure can be used, these are the most common and commonly used due to their use derived from the use of the square and the bevel to manually create this type of drawing. It is not very common to find other angles since these have been standardized and facilitate the understanding of geometry in an intuitive way. There is a particular case in which the 90° angle is used, generating a unique type of drawing where the plan and elevation are displayed in true magnitude. This type of perspective was used quite frequently by the



American architect John Hejduk, commonly acquiring the name of Egyptian perspective or Hejduk perspective (Gentil 1983, p. 77-89). Rhinoceros does not have oblique projection tools, so to draw 2D dihedral views of modeled 3D geometry, it always orthogonally projects each vertex of the object onto the interface display planes. For this reason, to obtain oblique projections it is necessary to “trick” the software so that by projecting orthogonally we get a graphic effect that is displayed in the same way as the result obtained with an oblique projection. To achieve this goal, we will distort in the three-dimensional model the edges perpendicular to the horizontal plane in the case of military axonometrics or to the vertical plane in the case of cabinet axonometrics, so that in our work file they already have a specific distortion angle that generates through a simple orthogonal projection each of the two types of oblique axonometric perspectives that we are looking for (Figs. 7 and 8).

Regarding this transformation, it is important to clarify that we must use an angular distortion of 45° , in order to ensure that the original dimensions located on the edges remain unchanged once their projection has occurred.

To generate the distortion on our digital geometry, it is necessary to apply the “skew” command, leaning on any geometric element, for example, a previously drawn triangle, where we have drawn the angle with which we want to distort the figure.

Once we have applied the distortion on the view and we have the virtual model ready to be projected on the horizontal plane to obtain a military view, or on the vertical plane to obtain a cabinet view, it would only remain in itself to carry out such a projective operation.

If everything is correct, in the viewer of the software’s graphical interface we will recognize the oblique axonometric perspective that we are looking for, either in the top view window, or in the front view window, depending on the final nature of the drawing. To carry out the projection, it is necessary to use the “_Make2D” command, which allows us to specify the desired set of preferences to project our virtual geometry and convert it into a two-dimensional flat drawing in vector format (Fig. 9). In this panel we can decide on which window to project the drawing, select the possibility

10. Ejemplo de los resultados obtenidos. Perspectivas axonómicas militares del volumen envolvente exterior de la Sta. Iglesia Catedral de Jaén. (Fuente: elaboración propia)

software visualizaremos la perspectiva axonométrica oblicua que buscamos, bien en la ventana de vista superior, o bien en la venta de vista frontal, según la naturaleza final del dibujo que buscamos.

Para efectuar la proyección es necesario utilizar el comando “-Make2D” que nos permite a través de su cuadro de diálogo especificar el conjunto de preferencias deseado para proyectar nuestra geometría virtual tridimensional y convertirla en un dibujo plano bidimensional en formato vectorial (Fig. 9).

En este cuadro podemos decidir sobre qué ventana proyectar el dibujo, seleccionar la posibilidad de incluir líneas tangenciales sobre los elementos curvos de la geometría diseñada o distinguir entre las aristas vistas y ocultas de la figura, enviando cada tipología gráfica a una capa o bien manteniendo las capas originales que existían en el archivo de trabajo.

Con ello por lo tanto habremos conseguido convertir un dibujo tridimensional en un dibujo bidimensional en verdadera magnitud perfectamente detallado y cualificado gráficamente según las aristas sean vistas u ocultas para el dibujo. Con esta información podemos manipular gráficamente nuestro dibujo bidimensional para mejorarlo, añadir o quitar detalles, y terminar aumentando la calidad visual del dibujo realizado.

Y para todo esto podemos bajar directamente en Rhinoceros o, de forma equivalente, exportar el dibujo a cualquier otro tipo de software CAD, o incluso otro tipo de programas de dibujo que permita trabajar en formato vectorial el resultado obtenido.

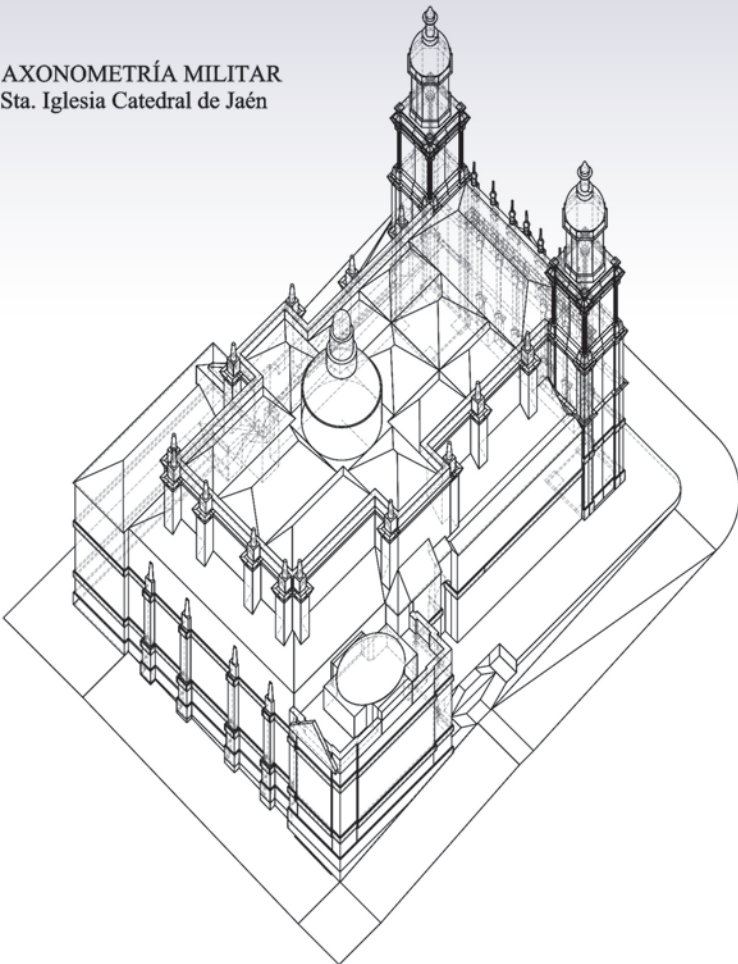
10. Example of the results obtained. Military axonometric perspectives of the exterior volume of the Cathedral of Jaén. (Source: original material)

Resultados y conclusiones

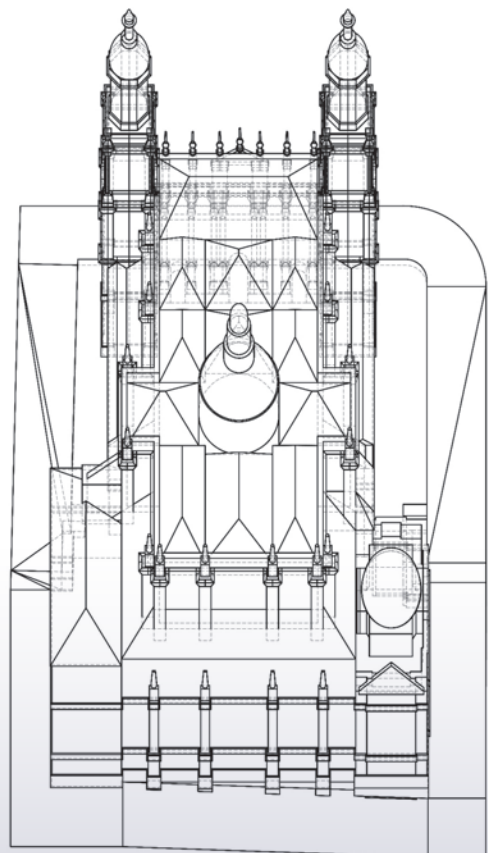
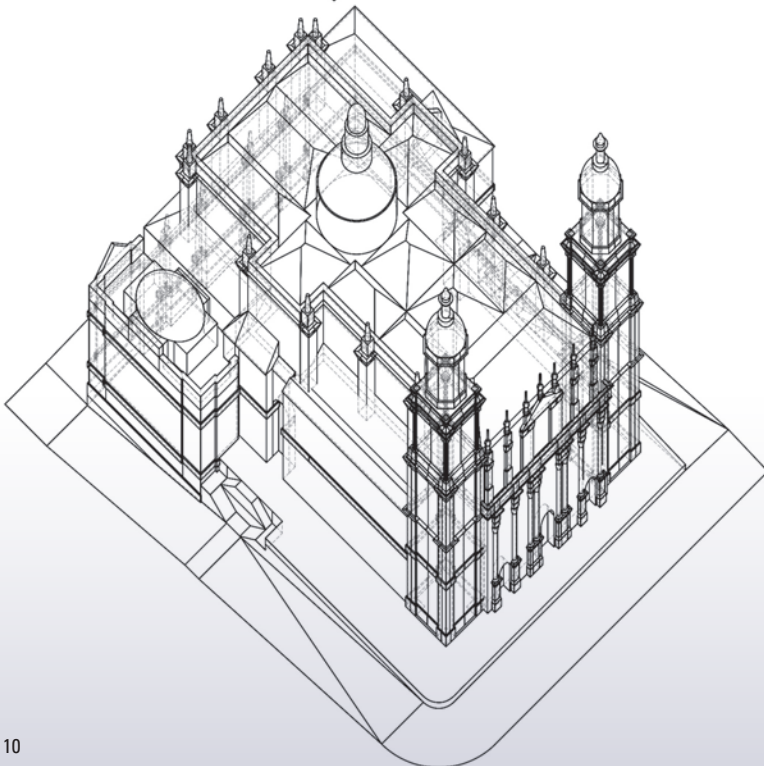
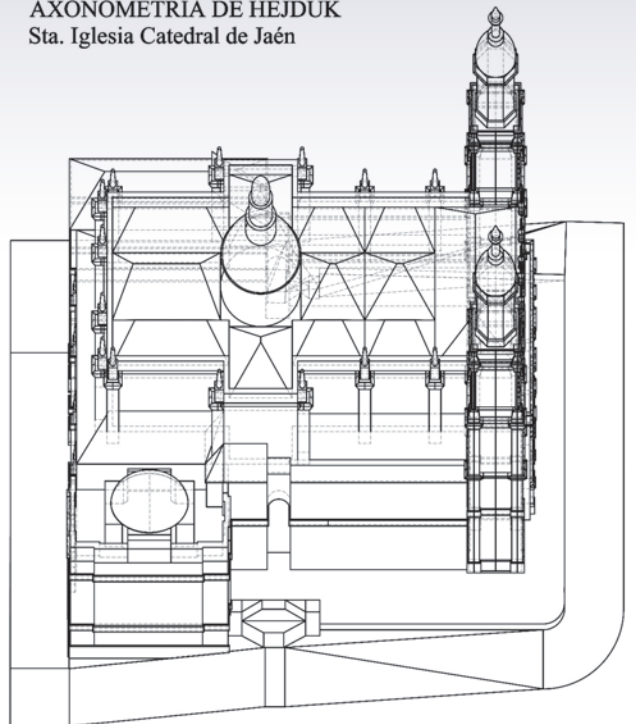
De acuerdo con lo que hemos explicado, los resultados derivados de este trabajo se concentran en dos situaciones. Por un lado, enunciar formalmente el método y transcribir las condiciones a imponer para proceder con su aplicación. Por otro lado, desarrollar un caso de estudio concreto aplicado sobre algún ejemplo de notable complejidad, que permita verificar su empleabilidad y que muestre claramente su capacidad para ser exportado hasta otras situaciones. Emplearemos como caso de estudio una edificación patrimonial de cierta complejidad arquitectónica que, por su envergadura y dificultad formal, permita demostrar la fiabilidad del **método de cálculo desarrollado, además de la potencia del software elegido para aplicar este método.**

Así, hemos operado sobre un modelo digital elaborado directamente en Rhinoceros donde se ha levantado tridimensionalmente la geometría envolvente exterior de la Catedral de Jaén. Se trata de un conjunto cuya complejidad volumétrica y arquitectónica arroja un extenso contenido gráfico que, de hacerlo con otro protocolo diferente al aquí presentado, exigiría muchas horas de trabajo para desarrollar una sola axonometría militar. Sin embargo, siguiendo la metodología aquí enunciada, en escasos minutos podemos disponer de varios dibujos axonométricos, desde ópticas y ángulos diversos en los que ya no sólo se podría evaluar todas las características geométricas y formales del edificio, sino añadir de forma inmediata y sencilla tanta información como se desee en una fase posterior a la del trazado final (Fig. 10).

AXONOMETRÍA MILITAR
Sta. Iglesia Catedral de Jaén



AXONOMETRÍA DE HEJDUK
Sta. Iglesia Catedral de Jaén





of including tangential lines on the curved elements of the designed geometry or distinguish between the visible and hidden edges of the figure, sending each graphic typology to a layer or keeping the original layers that existed in the working file.

With this we will have managed to convert a three-dimensional drawing into a two-dimensional drawing in true magnitude, perfectly detailed and graphically qualified depending on whether the edges are seen or hidden for the drawing. With this information we can manipulate our two-dimensional drawing to improve it, add or remove details, and end up increasing the visual quality of the drawing made.

And for all this we can work directly in Rhinoceros or, equivalently, export the drawing to any other type of CAD software, or even another type of drawing program that allows the result obtained to be worked in vector format.

Results and conclusions

According to what we have explained, the results derived from this paper are concentrated in two situations. On the one hand, formally state the method and transcribe the conditions to be imposed to proceed with its application. On the other hand, develop a specific case study applied to some example of notable complexity, which allows verifying its employability and clearly showing its ability to be exported to other situations. We will use as a case study a heritage building of a certain architectural complexity that, due to its size and formal difficulty, allows us to demonstrate the reliability of the calculation method developed, in addition to the power of the software chosen to apply this method. We have operated on a digital model elaborated directly in Rhinoceros where the external enveloping geometry of the Cathedral of Jaén has been raised three-dimensionally. It is a set whose complexity yields an extensive graphic content that, if done with another protocol different from the one presented here, would require many hours of work to develop a single military axonometry. However, following the methodology set forth here, in a few minutes we can have several axonometric drawings, from different perspectives and angles in which not only all the geometric and formal characteristics of the building could be evaluated, but also immediately and easily add

Evidentemente esto tiene una aplicación de enorme recorrido y potencial para registrar gráficamente todo tipo de bienes patrimoniales arquitectónicos, generando un alcance documental que, de no disponer de este tipo de herramientas digitales o no manejar este software, resultaría prácticamente una imposible de realizar. Y es que, además, el flujo de trabajo determinado por esta manera de operar permite ir añadiendo e incorporando sobre las axonometrías detalles de ámbito constructivo como, por ejemplo, aquellas cuestiones relacionadas con la conformación este-reotómica de los sistemas constructivos empleados, garantizando, a la postre, intervenciones de máxima delicadeza sobre el patrimonio y reposiciones o restituciones de elementos que por el paso del tiempo pudieran perderse.

Nos centramos, de forma muy concreta, en el método de cálculo desarrollado con Rhinoceros, así como en la capacidad que tiene este soporte para intercambiar datos con otros programas informáticos, de manera que invirtamos el menor esfuerzo posible para obtener el mayor rendimiento gráfico.

Frente a otros procedimientos basados en la gestión masiva de información, como sucedería con archivos de trabajo bajo formatos BIM, las posibilidades técnicas de Rhinoceros nos permiten generar soportes más universales e intercambiables con otros profesionales y disciplinas a los que la tecnología BIM les queda demasiado lejos. Es por ello por lo que, aun siendo plenamente conscientes de que estamos en plena fase de expansión de los sistemas BIM, rompemos una lanza en favor de códigos de representación lineal, realizados en

formato vectorial, frente a códigos basados en imágenes rasterizadas en donde se pierde, en demasiadas ocasiones, el potencial métrico del dibujo técnico.

Trabajar con protocolos de representación lineal, frente al render o la fotografía, nos obliga a reposicionar y abstraer las operaciones y decisiones técnicas a ejecutar. El dibujo técnico, más allá de su valor expresivo siempre bello y elegante, nos permite elevar nuestro discurso a un nivel científico, sin que con ello perdamos la posibilidad de intercambiar material o experiencias con otros colaboradores, sobre todo, cuando trabajamos en el ámbito del patrimonio histórico-artístico.

Contra la representación pictórica, la manera expresiva de la Arquitectura ha sido siempre la del lenguaje técnico, motivo por el cual este artículo rompe una lanza en favor de la recuperación y conservación de aquellos procedimientos de expresión que forman parte del lenguaje universal de la disciplina (Estepa 22, 13).

Como corolario, solo restaría decir que el presente documento quiere servir como guía de soporte y registro sobre una forma ordenada en el seguimiento de los pasos a ejecutar para optimizar el empleo de esta herramienta; de manera que, si fuera posible, su alcance pedagógico y su capacidad de impacto se conviertan en motores fundamentales que motiven el discurso aquí presentado. ■

Referencias

- BÁEZ MEZQUITA, J.M. 2010. "El dibujo a línea y la arquitectura. Un idilio interminable". *Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica*, nº 15. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Pp. 36-45. <https://doi.org/10.4995/ega.2010.990>



- BAKER, G. H., 2000. *Le Corbusier: análisis de la forma*. Barcelona: Ed. Gustavo Gili.
- CABEZOS BERNAL, P. M. y CISNEROS VIVÓ, J.J. 2010. “Obtención de perspectivas caballerías y militares a partir de modelos tridimensionales”. *Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica*, nº 16. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Pp. 82-87. <https://doi.org/10.4995/ega.2010.1014>
- CABEZOS BERNAL, P.M. y CISNEROS-VIVÓ, J.J. 2016. “Oblique Perspectives and CAD Software”. *Handbook of Research on Visual Computing and Emerging Geometrical Design Tools*. Hershey, PA: IGI Global. Pp. 290-308. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-0029-2.ch013>
- ESTEPA RUBIO, A. 2022. *Dibujo, representación, pensamiento e ideación gráfica en el ámbito de la arquitectura y el diseño*. Zaragoza: Ediciones Universidad de San Jorge.
- GENTIL BALDRICH, J. 1983. *Representación de la Arquitectura. Aproximación a su estructura y génesis como lenguaje* [Tesis doctoral]. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- HIDALGO GARCÍA, D., SANTIAGO, J. M., GARCÍA, S., ARCO, J., & SAUCEDO, R. (2012). “Los sistemas de representación arquitectónicos en los manuscritos de Leonardo da Vinci: Duomo de Milán”. *EGE Revista De Expresión Gráfica En La Edificación*, nº 7. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Pp. 72-80. <https://doi.org/10.4995/ega.2012.12502>
- IZQUIERDO ASENSI, F. 2000. *Geometría Descriptiva* (24ª Edición). Madrid: Ed. Paraninfo.
- MARTÍ ARÍS, C. 2014. *Las variaciones de la identidad. Ensayos sobre el tipo en arquitectura*. Colección arquia/temas, nº 36. Barcelona: Fundación Arquia.
- PALACIOS GONZALO, J.C. 1990. *Trazas y cortes de cantería en el Renacimiento Español*. Madrid: Ministerio de Cultura. Dirección General de Bellas Artes y Archivos. Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales.
- PANOFSKY, E. 1999. *La perspectiva como forma simbólica*. Barcelona: Tusquets.
- RUIZ DE LA ROSA, J.A. 1999. “De geometría y arquitectura”. *RA. Revista de Arquitectura*, nº 3. Pamplona: Universidad de Navarra. Pp. 22-32. <https://hdl.handle.net/10171/17819>
- TRACHANA, A. 2012. “Manual o digital. Fundamentos antropológicos del dibujar y construir modelos arquitectónicos”. *Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica*, nº 19. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Pp. 288-297. <https://doi.org/10.4995/ega.2012.1381>

as much information as desired at a later stage than the final plot (Fig. 10).

Obviously, this has an application with enormous scope and potential to graphically record all kinds of architectural heritage assets, generating a documentary scope that would be practically impossible without this type of digital tools or without handling this software. And the fact is that, in addition, the workflow determined by this way of operating allows building details to be added to the axonometries, such as, for example, those issues related to the stereotomic conformation of the construction systems used, guaranteeing interventions of maximum delicacy on heritage and replacements of elements that could be lost due to the passage of time.

We focus, in a very specific way, on the calculation method developed with Rhinoceros, as well as on the ability of this support to exchange data with other computer programs, so that we invest the least possible effort to obtain the best graphic performance.

Compared to other procedures based on the massive management of information, as would happen with work files under BIM formats, the technical possibilities of Rhinoceros allow us to generate more universal and interchangeable supports with other professionals and disciplines for which BIM technology is too far away. That is why, even being fully aware that we are in full expansion phase of BIM systems, we break a spear in favor of linear representation codes, made in vector format, against codes based on raster images where loses, on too many occasions, the metric potential of the technical drawing. Working with linear representation protocols, as opposed to rendering or photography, forces us to reposition and abstract the operations and technical decisions to be executed. Technical drawing, beyond its always beautiful and elegant expressive value, allows us to raise our discourse to a scientific level, without thereby losing the possibility of exchanging material or experiences with other collaborators, especially when we work in the field of historical-artistic heritage.

Against pictorial representation, the expressive way of Architecture has always been that of technical language, which is why this article breaks a spear in favor of the recovery and conservation of those expression procedures that are part of the universal

language of the discipline (Steppe 22, 13). As a corollary, it only remains to say that this document wants to serve as a support and registration guide on an orderly way to follow the steps to be executed to optimize the use of this tool; so that, if possible, its pedagogical scope and its capacity for impact become fundamental engines that motivate the discourse presented here. ■

References

- BÁEZ MEZQUITA, J.M. 2010. “Line drawing and architecture. An endless idyll”. *Architectural Graphic Expression Magazine*, nº 15. Valencia: Polytechnic University of Valencia. Pp. 36-45. <https://doi.org/10.4995/ega.2010.990>
- BAKER, G. H., 2000. *Le Corbusier: form analysis*. Barcelona: Ed. Gustavo Gili.
- CABEZOS BERNAL, P. M. and CISNEROS VIVÓ, J.J. 2010. “Obtaining cavalry and military perspectives from three-dimensional models”. *Architectural Graphic Expression Magazine*, nº 16. Valencia: Polytechnic University of Valencia. Pp. 82-87. <https://doi.org/10.4995/ega.2010.1014>
- ESTEPA RUBIO, A. 2022. *Drawing, representation, thought and graphic ideation in the field of architecture and design*. Zaragoza: San Jorge University Editions.
- GENTIL BALDRICH, J. 1983. *Representation of Architecture. Approach to its structure and genesis as a language* [Phd research]. Sevilla: Seville University.
- HIDALGO GARCÍA, D., SANTIAGO, J. M., GARCÍA, S., ARCO, J., & SAUCEDO, R. (2012). “The architectural representation systems in the manuscripts of Leonardo da Vinci: Duomo of Milan”. *EGE Graphical Expression Building Journal*, nº 7. Valencia: Polytechnic University of Valencia. Pp. 72-80. <https://doi.org/10.4995/ega.2012.12502>
- IZQUIERDO ASENSI, F. 2000. *Descriptive Geometry* (24th Edition). Madrid: Ed. Paraninfo.
- MARTÍ ARÍS, C. 2014. *Variations of identity. Essays on type in architecture*. Arquia/themes Collection, nº 36. Barcelona: Arquia Foundation.
- PALACIOS GONZALO, J.C. 1990. *Traces and cuts of stonework in the Spanish Renaissance*. Madrid: Ministry of Culture. General Directorate of Fine Arts and Archives. Institute for Conservation and Restoration of Cultural Assets.
- PANOFSKY, E. 1999. *Perspective as symbolic form*. Barcelona: Tusquets.
- RUIZ DE LA ROSA, J.A. 1999. “Of geometry and architecture”. *RA. Architecture Journal*, nº 3. Pamplona: Navarra University. Pp. 22-32. <https://hdl.handle.net/10171/17819>
- TRACHANA, A. 2012. “Manual or digital. Anthropological foundations of drawing and building architectural models”. *Architectural Graphic Expression Magazine*, nº 19. Valencia: Polytechnic University of Valencia. Pp. 288-297. <https://doi.org/10.4995/ega.2012.1381>